Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 569-582

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۵۸۲-۵۶۹

# اثر شرایط مختلف رطوبتی خاک و کاربرد نانو اکسیدروی بر تغییرات فیتوهورمونی و کیفیت تغذیه‌ای گندم نان (*Triticum aestivum*)

امین عباسی[1*]- فریبرز شکاری[2]- رامین لطفی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

## چکیده

تنش خشکی و کمبود عنصر روی از عوامل مهم تأثیرگذار بر روی تغییر وضعیت رشدی و کاهش کمیت و کیفیت گندم تولیدی می‌باشد. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۴ در کشتزار پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه انجام گرفت. دو عامل شرایط مختلف رطوبتی [آبیاری در۹۰ درصد ظرفیت زراعی (عدم تنش)، آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید)] و کاربردهای عنصر روی [بذر خشک، افشانه کردن ۰/۵ گرم در ۱۰۰ لیتر و ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر نانو اکسیدروی و افشانه کردن ۰/۵ گرم در ۱۰۰ لیتر و ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر اکسیدروی] به‌عنوان فاکتورهای این پژوهش بر روی رقم هما (سرداری ۳۹) مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های مزرعه‌ای آشکار شد که کاربرد عنصر روی در شرایط تنش قادر به بهبود شماری از پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش می‌باشد به نحوی که برهم‌کنش مربوط به اعمال تنش خشکی و کاربرد عنصر روی بر روی ایندول استیک اسید، آبسسیک اسید، اسید جیبرلیک، مقادیر عنصر روی، شاخص کلروفیل، پروتئین، ماده خشک کل، اسید فیتیک و پرولین و اثرات ساده‌ی مربوط به کاربرد عنصر روی و تنش خشکی بر میزان تریپتوفان و عملکرد اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گشت. به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنین اذعان داشت که بروز تنش خشکی با اثر مستقیم بر مقادیر هورمون‌های گیاهی تأثیرات نامطلوبی را بر روی رشد و نمو گیاهان دارد. بهره‌گیری از تیمار ۰/۵ گرم نانو اکسید روی در می‌تواند با افزایش ساخت پرولین و پیشگیری از تخریب کلروفیل موجب کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی و بهبود شرایط رشدی گیاهان گردد که نهایتاً به بهبود عملکرد کمی و کیفی منتهی گردد.

**واژه‌های کلیدی:** اسید فیتیک، اکسین، تریپتوفان، سیتوکینین، عملکرد

## مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان قدیمی‌ترین و مهم‌ترین گیاه در میان محصولات زراعی با میانگین برداشت سالیانه حدود ۷۳۰ میلیون تن و سطح زیر کشت ۲۲۰ میلیون هکتار (FAO, 2014)، بیشترین تولید و سطح زیر کشت را در بین محصولات زراعی دارا می‌باشد. اغلب مناطق تولید گندم در جهان در بخشی از فصل رشد با کمبود آب مواجه هستند. کشور ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزو مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود. در کشورمان کم آبی مهم‌ترین عامل کاهش‌دهنده کیفیت و کمیت عملکرد گندم و سایر گیاهان زراعی اطلاق می‌گردد (Roche *et al*., 2009). تنش خشکی تأثیرات چند جانبه‌ای بر روی گیاهان می‌گذارد که نمود آنها در گیاهان کاهش تقسیم سلولی، حجم سلول، رشد اندام‌های گیاه، سطح برگ، فتوسنتز خالص، سنتز پروتئین، کلروفیل، تغییر توازن هورمونی و تغییرات بیان ژنی را به دنبال دارد (Ji *et al*., 2010). این تغییرات اغلب به‌وسیله تحریک‌پذیری هورمون‌های گیاهی از تنش خشکی به انجام می‌رسد. هورمون‌های گیاهی علاوه بر اینکه در سازگاری گیاهان به تنش خشکی می‌توانند ایفای نقش کنند در رشد و نمو گیاهان در این شرایط نیز نقش کلیدی

۱- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۳- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a.abbasi25@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i3.67795

را بر عهده دارند (Muraro *et al*., 2011).

روی جزء تشکیل‌دهنده برخی از پروتئین‌های غیرآنزیمی و همچنین، کوفاکتور شماری از آنزیم‌هاست. در گیاهان زراعی، آنزیم‌های متعددی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و ساخت پروتئین‌ها درگیر هستند که فعالیت آن‌ها توسط روی صورت می‌پذیرد که می‌توان به آلدولاز، ایزومراز، ترانس فسفریلاز، DNA و RNA پلیمراز و دهیدروژناز اشاره نمود. عنصر روی در سنتز پروتئین و تولید انرژی سلولی نیز دخیل می‌باشد (Broadley *et al*., 2007). این عنصر نقش مهمی را در حفظ و تمامیت غشای سلولی، گرده‌افشانی و مقاومت در برابر پاتوژن‌ها ایفا می‌کند (Marschner, 2011). روی همچنین، در تنظیم بیان ژن در تحمل به تنش‌های محیطی نقش مهمی دارد (Broadley *et al*., 2007). عنصر یاد شده به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در تشکیل نشاسته، متابولیسم نیتروژن، انسجام غشاها، فعالیت فیتوکروم‌ها، تبدیل کربوهیدرات‌ها و انجام اکسیداسیون یاخته‌های گیاهی نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند (Fageria *et al*., 2003). به‌عنوان مهمترین نقش این عنصر می‌توان به ساخته شدن ایندول‌استیک‌اسید از تریپتوفان اشاره نمود (Abbasi *et al*., 2015).

استفاده از فناوری‌های روز دنیا و به‌ویژه فناوری نانو از جمله رویکردهای نوینی می‌باشد که مورد توجه پژوهشگران بخش کشاورزی دنیا قرار گرفته است (Scott and Chen, 2013). نانو ذرات مجموعه‌ای از اتم‌ها و مولکول‌هایی با قطر بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. به‌عبارتی آن دسته از موادی که در تمام ابعاد در مقیاس نانو می‌باشند، نانو ذرات خوانده می‌شوند (Klaine *et al*., 2008). فناوری نانو با تغییر و اثرگذاری در فرمولاسیون کودها و تولید موادی با ویژگی‌های مناسب و منحصر به فرد (نانوکود شیمیایی، نانوکود آلی و نانوکود بیولوژیک) می‌تواند نقش مهمی را در افزایش راندمان و کیفیت محصولات کشاورزی به‌واسطه سرعت جذب بالاتر ایفا نماید (Manjunatha *et al*., 2016). اکسید روی از طرف سازمان غذا و داروی آمریکا به‌عنوان یکی از ترکیبات ایمن و سالم عنصر روی شناخته شده است (Premanathan *et al*., 2011). نانو اکسید روی نیز در همین راستا به‌عنوان نانو ذره‌ای جدید مهندسی شده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که کاربرد نانواکسید روی علاوه بر افزایش مصرف غلظت عنصر روی در گیاهان بر میزان جذب سایر عناصر نیز تأثیر دارد (Kisan *et al*., 2015). با مصرف عناصر ریز مغذی قدرت تحمل گندم به شرایط تنش افزایش می‌یابد. زاین و همکاران (Zain *et al*., 2015) اظهار داشتند که محلول‌پاشی عناصر کم مصرف در مقایسه با سایر روش‌های کاربرد تأثیر مثبتی بر برخی از خصوصیات رشدی گندم داشت. همچنین رزمجو و غفاری (Razmjoo and Ghafari, 2015) گزارش نمودند که کاربرد کود به فرم نانو در مقایسه با فرم معمولی تأثیر بیشتری بر عملکرد گندم داشه است.

وقوع تنش خشکی در کشتزارهای گندم از یک سو و کمبود عنصر روی از سوی دیگر، عملکرد کمی و کیفی گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدیهی است که افزایش دسترسی عنصر روی و کاهش اثرات تنش خشکی می‌توانند نقش مؤثری در بهبود وضعیت حاضر داشته باشند. در پژوهش کنونی تلاش گردیده تا اثر افشانه کردن نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی در راستای افزایش تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی در گندم پاییزه (هما) مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، اثرات تیمارهای یاد شده بر تغییرات رشدی، عملکرد کمی و کیفی و تغییرات فیتوهورمونی مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور تعیین اثر مصرف عنصر روی در دو فرم نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی بر مقادیر فیتوهورمون‌های گیاهی، وضعیت رشدی و کیفیت تغذیه‌ای گندم در شرایط تنش خشکی در سال ۱۳۹۴ در کشتزار پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه اجرا گردید. برای انتخاب کشتزار مناسب، نخست نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متری کشتزارهای مختلف تهیه و غلظت برخی از عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شدند (جدول ۱) (Ali-Ehyaee *et al*., 1993).

**جدول ۱- نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده پیش از کاشت**

**Table 1- Results of physical and chemical analysis of soil before planting**

| ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک مورد آزمایش<br>Soil characteristics measured in the soil | مقادیر<br>Values | ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک مورد آزمایش<br>Soil characteristics measured in the soil | مقادیر<br>Values |
|---|---|---|---|
| بافت خاک (Soil Textures) | sandy loam | نیتروژن کل (Total Nitrogen) | 0.06 |
| اسیدیته گل اشباع (Soil Clay Acidity) | 7.51 | فسفر قابل جذب (روش اولسون) (P availability) | 3.81 |
| قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) (Electrical Conductivity) | 0.46 | پتاسیم قابل جذب (استات آمونیوم) (K availability) | 364 |
| کربنات کلسیم معادل (Calcium Carbonate equivalent) | 9.61 | روی قابل جذب (DTPA) (Zn availability) | 0.38 |
| کربن آلی (Organic Carbon) | 0.32 | منگنز قابل جذب (DTPA) (Mn availability) | 1.56 |
| رطوبت اشباع (Saturation Moisture) | 46 | آهن قابل جذب (DTPA) (Fe availability) | 3.26 |

برای اجرای آزمایش، خاک کشتزاری که کمترین میزان عنصر روی را داشت انتخاب گردید. تغذیه‌ی کودی کشتزار به دو شکل کود

پایه و کود سرک صورت گرفت. کود پایه شامل فسفر (۱۸ کیلوگرم در هکتار از منبع کود فسفات آمونیوم) و نیتروژن (۹۶ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره و ۱۰ کیلوگرم از منبع کود فسفات آمونیوم)، در هنگام دیسک زدن در سطح خاک پخش شد.

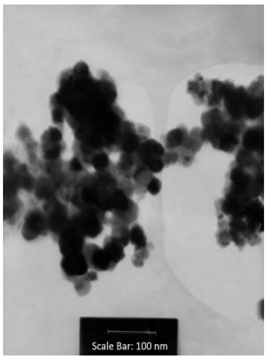
این پژوهش با بهره‌گیری از آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. در آزمایش حاضر، دو فاکتور شامل شرایط مختلف رطوبتی خاک (آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان فاکتور اول و کاربردهای عنصر روی (بذر خشک، افشانه کردن ۰/۵ گرم در ۱۰۰ لیتر نانو اکسیدروی، افشانه کردن ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر نانواکسید روی، افشانه کردن ۰/۵ گرم در ۱۰۰ لیتر اکسیدروی، افشانه کردن ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر اکسید روی) به‌عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. به منظور تهیه کردن محلول نانو اکسید روی، مقدار مشخص نانوذرات اکسید روی را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب افزوده و به مدت نیم ساعت در مجاورت امواج فراصوت قرار گرفت شد. بعد از پراکنده شدن یکنواخت نانوذرات در داخل آب، عمل افشانه کردن در مرحله‌ی ۱۸ زادوکس و در دو مرحله با فاصله یک هفته‌ای انجام شد. برای اعمال شرایط متفاوت رطوبتی تمامی تیمارها تا مرحله ۶-۴ برگی به‌صورت کامل آبیاری شدند سپس جهت اعمال الگوی آبیاری، مقادیر رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (WP) اندازه‌گیری شد. طول کرت‌ها چهار متر و عرض آنها دو متر و فاصله‌ی بین کرت‌ها ۲ متر و فاصله بین تکرارها ۵ متر در نظر گرفته شد. زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری خاک در یک نوبت در وسط هر روز از عمق توسعه ریشه در تیمارهای مختلف و رسیدن به رطوبت مورد نظر تعیین گردید (Martin *et al.*, 1990). میزان آب آبیاری برای هر کرت با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر) مساحت کرت و رطوبت ظرفیت زراعی خاک بر حسب متر مکعب محاسبه شد (Rostamza *et al.*, 2011).

$$In = \frac{(Fci - \theta i) \times D \times A}{100} \qquad (۱)$$

*In*: حجم آب مصرفی، $F_{ci}$: رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی، $\theta_i$ : مقدار رطوبت خاک در شرایط نمونه‌برداری، *D*: عمق مناسب نفوذ ریشه، *A*: سطح کرت مورد استفاده.

انتهای کرت‌ها برای جلوگیری از خروج آب به‌طور کامل بسته شدند. برای جلوگیری از تأثیر بارندگی‌ها بر روی کشتزار آزمایشی و اثرات آنها بر تیمارهای خشکی، پوشش‌های پلاستیکی با توجه به پیش‌بینی‌های هواشناسی در روزهایی با احتمال بارش بر روی کشتزار در نظر گرفته شد. همچنین جهت یکنواختی شرایط محیطی در بین سطوح مختلف آبیاری، پوشش‌ها بی‌درنگ پس از سپری شدن روزهای بارانی برداشته می‌شد.

لازم به ذکر است که مواد نانو اکسید روی به روش همرسوبی با استفاده از نیترات روی و سدیم هیدروکسید در آزمایشگاه پژوهشی و تحقیقاتی گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مراغه انجام شد (Devi and Velu, 2016). تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (Transmission Electron Microscopic) ذرات حاصل از واکنش همرسوبی در شکل ۱ آورده شده است.




**شکل ۱- تصویر (TEM) میکروسکوب الکترونی نانو اکسید روی**
**Figure 1- TEM micrograph of Nano-ZnO nanoparticles**

در این پژوهش صفات عملکرد زیست‌شناختی (بیولوژیک)، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت از حاصل‌ضرب نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک در ۱۰۰ به‌دست آمد (Fageria *et al.*, 2003). پروتیئن دانه‌های برداشت شده با کاربرد دستگاه پروتابل آنالیزور بذر Zeltex (مدل ZX50) اندازه‌گیری شد. شاخص کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلرفیل‌سنج دستی (Spad Minolta-502) در زمان سنبله‌دهی در برگ ماقبل آخر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری غلظت روی دانه‌های برداشت شده از واحدهای آزمایشی با بهره‌گیری از روش Wet Ashing با استفاده از دستگاه جذب اتمی شیمادزو (Shimadzu AA-6300) به انجام رسید (Van Loon, 2012). برای ارزیابی میزان تجمع پرولین به‌عنوان یک عامل مهم در برآورد میزان مقاومت به خشکی از روش باتس استفاده گردید (Bates *et al.*, 1973). اندازه‌گیری غلظت هورمون‌های ایندول استیک اسید و اسید آبسسیک به‌وسیله روش کوجیما همراه با اصلاحاتی که توسط یوکوتو و همکاران صورت گرفته است انجام شد (Yokota *et al.*, 1994). اندازه‌گیری غلظت هورمون اسید جیبرلیک به‌وسیله روش مورد اشاره Barendse صورت گرفت (Barendse *et al.*, 1980). میزان اسیدهای آمینه در نمونه‌های برداشت شده توسط دستگاه HPLC و روش استاندارد فونتاین تعیین شد (Fontaine, 2003). گذشته از این موارد، اندازه گیری اسیدفیتیک دانه نیز به روش Haug و Lantzsch صورت گرفت (Haug and Lantzsch, 1983).

پیش از تجزیه‌ی واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها و خطاها و افزایشی بودن اثر بلوک در تیمار بررسی گردید. مقایسه‌ی میانگین

صفات مورد بررسی توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای انجام تجزیه‌ی داده‌ها و رسم نمودارها نرم‌افزارهای GenStat 12، SPSS17 و Excel به‌کار رفت.

## نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های مزرعه‌ای آشکار شد که کاربرد عنصر روی در تیمارهای تنش مورد بررسی قادر به بهبود شماری از پارمترهای این پژوهش می‌باشد. به گونه‌ایی که با توجه به جدول ۲ برهم‌کنش مربوط به اعمال تنش خشکی و کاربرد عنصر روی بر روی ایندول استیک اسید، آبسسیک اسید، اسید جیبرلیک، مقادیر عنصر روی، شاخص کلروفیل، پروتئین، ماده خشک کل، اسید فیتیک و پرولین معنی‌دار بوده است ($p<0.01$). همچنین اثرات جداگانه کاربرد عنصر روی و تنش خشکی بر صفات میزان تریپتوفان و عملکرد اقتصادی معنی‌دار گشت ($p<0.01$) (جدول ۲). همچنین اثرات ساده‌ی این تیمارها در صفات میزان تریپتوفان، عملکرد اقتصادی معنی‌دار شد ($p<0.01$).

تجزیه‌ی واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش کاربرد نانو اکسید روی و اعمال تنش خشکی دارای اثرات معنی‌داری در مقادیر ایندول استیک اسید بودند ($p<0.01$) (جدول ۲). بیشترین میزان ایندول استیک اسید مربوط به تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد در هر سه نوع آبیاری می‌باشد که تفاوت معنی‌داری با تیمار نیم درصد کاربرد اکسید روی در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نشان نداد (شکل ۲). در این پژوهش، میزان ایندول استیک اسید در تیمار شاهد با آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در حدود ۱۱۸/۳ نانوگرم بر گرم وزن‌تر بود، بهره‌گیری از نانواکسیدروی در شرایط فوق باعث افزایش ۳۷/۵ درصدی ایندول استیک اسید گشت. کاربرد اکسید روی نیز سبب افزایش ۱۳/۴ درصدی میزان ایندول استیک اسید شد. به همین ترتیب، کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در تیمار شاهد با آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش میزان هورمون ایندول استیک اسید از حدود ۱۳۰ نانوگرم بر گرم وزن تر تا ۲۹۲/۳ نانوگرم بر گرم وزن تر گردید (شکل ۲). طبق اظهارات مارشنر (Marschner, 2011) متمایزترین نشانه‌های کمبود روی کاهش یا توقف رشد برگ‌ها و اندام‌های هوایی می‌باشد. افزایش رشد شاخساره در نتیجه‌ی کاربرد عنصر روی توسط چاکماک (Cakmak, 2008) نیز گزارش گردیده است. عنصر روی سطوح اکسین در گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری که کمبود آن موجب توقف رشد و همچنین، تجزیه ایندول استیک اسید توسط افزایش فعالیت پراکسیداز خواهد گردید. تبدیل مواد به مقیاس نانو تمام خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت کاتالیزوری عناصر را تغییر می‌دهد که علاوه بر افزایش انحلال‌پذیری عناصر، قابلیت نفوذ در غشای سلولی آنها را نیز بهبود می‌دهد همچنین در افزایش فعالیت‌های شیمیایی عناصر نیز تأثیر مثبتی دارد. برای نخستین بار، سکوگ (Skoog, 1940) گزارش کرد هنگامی که گیاهان گوجه‌فرنگی تحت شرایط کمبود روی قرار گرفتند میزان ایندول استیک اسید در این گیاهان کاهش معنی‌داری را نشان داد. در شرایط فراهمی این عنصر، گذشته از افزایش مقدار ایندول استیک اسید، بلندی گیاهان نیز افزایش معنی‌داری را نشان داد. عنصر روی سطوح اکسین در گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری که کمبود آن موجب توقف رشد و همچنین، تجزیه ایندول استیک اسید توسط افزایش فعالیت پراکسیداز خواهد گردید. پایین بودن اکسین در گیاهانی با کمبود روی توسط چاکماک و همکاران (Cakmak *et al*., 1989) نیز گزارش شده است.

تجزیه‌ی واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش کاربرد نانو اکسید روی و اعمال تنش خشکی دارای اثرات معنی‌داری در مقادیر اسید آبسسیک بودند ($p<0.01$) (جدول ۲). بیشترین میزان اسید آبسسیک مربوط به تیمار کاربرد اکسید روی نیم درصد در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۲). در این پژوهش، میزان اسید آبسسیک در تیمار شاهد با آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در حدود ۴۹۴ نانوگرم بر گرم وزن تر بود، به‌کارگیری نانو اکسید روی در همان شرایط باعث کاهش ۲۲ درصدی اسید آبسسیک گشت. کاربرد اکسید روی نیز در همین شرایط سبب کاهش ۹/۵۱ در صدی میزان اسید آبسسیک شد. به همین ترتیب، کاربرد نانو اکسید روی در شرایط آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش ۴۹/۶ و ۲۰/۵ نانوگرم بر گرم وزن تر از مقدار این هورمون نسبت به تیمار شاهد در این شرایط گردید (شکل ۲). اسید آبسسیک باعث کاهش رشد دانه می‌گردد که به احتمال فراوان از راه کاهش در شمار سلول آندوسپرمی و محدود کردن بیشینه گنجایش اندوخته‌ای (Myers *et al*., 1990) یا از راه اثرات بازدارندگی آن بر روی گسیل ساکاروز–14C (Borkovec and Prochazka, 1992) صورت می‌گیرد. پژوهش‌های بعدی آشکار ساخت که سطوح بسیار بالای این هورمون پس از دوره تقسیم سلولی، اثر بازدارندگی بر روی پر شدن دانه و رشد دانه ایجاد می‌کند (Ahmadi and Baker, 1999). ولی غلظت متعادل آبسسیک اسید در آغاز پر شدن دانه و پیری برگ‌های پرچم به بهبود اجزای عملکرد خواهد انجامید. با توجه به شکل ۲ بیشترین میزان اسید آبسسیک مربوط به تیمار کاربرد اکسید روی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار نانو اکسید روی و آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی می‌باشد که انتظار بر این است که اندازه دانه در این تیمارها نیز بزرگتر باشد چرا که سرعت پرشدن دانه در این تیمارها بالاتر می‌باشد. در همین رابطه

اسچوسلر و همکاران (Schussler *et al.*, 1984) نشان دادند که در گیاه سویا (*Glycine max* L.) رقمی با وزن دانه بالا، محتوای اسید آبسسیک نیز بالاتر بود. در رابطه با نیتروژن نیز این گفته صادق می‌باشد که با کاهش در دسترس بودن این عنصر میزان ایندول استیک اسید و اسید آبسسیک به‌طور معنی‌داری کاهش نشان می‌دهد (Zdunek and Lips, 2001). کاهش غلظت اسید آبسسیک در کمبود پتاسیم نیز گزارش شده است (Benech- Marrush *et al.*, 1998).

**جدول ۲- تجزیه‌ی واریانس میانگین مربعات مربوط به صفات مورد بررسی گندم تحت تأثیر عنصر روی و اعمال تنش خشکی**

**Table 2- Analysis of variance mean of squares of the traits affected by zinc and drought stress**

| منابع تغییرات Sources of Variation | df | میانگین مربعات (Mean Square) ایندول استیک اسید Indole-acetic acid | آبسسیک اسید Abscisic acid | اسید جیبرلیک Gibberellic acid | تریپتوفان Tryptophan | مقادیر عنصر روی Zinc | شاخص کلروفیل Chlorophyll index | پروتئین Protein | ماده خشک کل Total dry matter | عملکرد اقتصادی Yield | اسید فیتیک Phytic Acid | پرولین Proline |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار Replication | 2 | 41.76 | 220.87 | 109.4 | 0.23022 | 0.000016 | 0.0028 | 0.30422 | 14071 | 0.0086 | 0.05067 | 1.7936 |
| تنش Stress | 4 | 20666.8** | 202213.8** | 15348.6** | 5.82689** | 0.00042** | 38.557** | 28.26822** | 14352503** | 8.1234** | 12.514** | 163.344** |
| اشتباه اصلی Error a | 4 | 15.96 | 11.27 | 87.1 | 0.03489 | 0.000001 | 0.16422 | 0.00856 | 6702 | 0.03424 | 0.0343 | 0.3756 |
| عنصر روی Zn | 4 | 16962.61** | 4555.5** | 757.92** | 0.98978** | 0.000073** | 4.3025** | 4.2325** | 478012** | 0.2973** | 3.29022** | 36.1141** |
| روی × تنش Zn×Stress | 8 | 1830.63** | 1091.36** | 93.24** | 0.04161ns | 0.000006** | 0.6183** | 0.779** | 33473* | 0.03648ns | 3.9027** | 10.671** |
| اشتباه Error B | 24 | 76.22 | 54.13 | 14.7 | 0.03917 | 0.0000006 | 0.0687 | 0.04165 | 13844 | 0.02454 | 0.07922 | 0.626 |
| ضریب تغییرات CV | - | 4.8 | 4 | 3 | 8.8 | 5.1 | 3.9 | 3 | 9.4 | 7.2 | 5.1 | 1.5 |

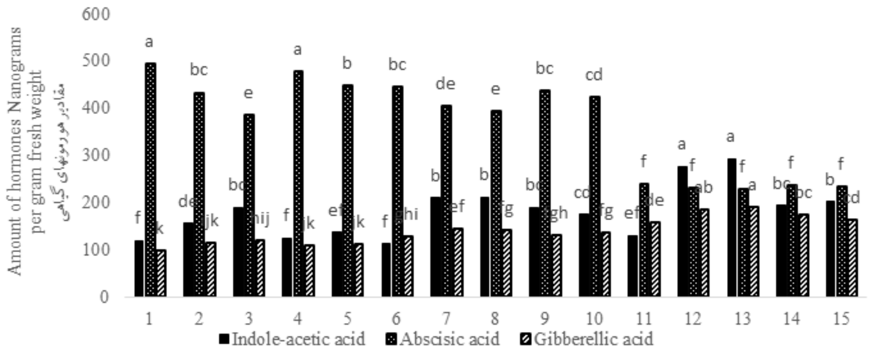
ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

در پژوهش کنونی تجزیه‌ی واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش کاربرد نانو اکسید روی و اعمال تنش خشکی دارای اثرات معنی‌داری در مقادیر هورمون اسید جیبرلیک در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). بیشترین میزان هورمون اسید جیبرلیک مربوط به تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار عدم کاربرد عنصر روی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۲). در این پژوهش، میزان هورمون اسید جیبرلیک در تیمار عدم کاربرد عنصر روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در حدود ۱۵۷/۷ نانوگرم بر گرم وزن تر بود. به بیان بهتر، کاربرد نانو اکسید روی در این شرایط باعث افزایش ۱۷/۴۳ درصدی هورمون اسید جیبرلیک گشت. کاربرد اکسید روی در همین شرایط نیز سبب افزایش ۹/۳۶ درصدی میزان هورمون اسید جیبرلیک شد. به‌همین ترتیب، کاربرد نانو اکسید روی در هر دو شرایط آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز نسبت به تیمارهای عدم کاربرد عنصر روی در همین شرایط افزایشی معادل ۱۲/۵۹ و ۱۸/۰۸ درصد را نشان دادند (شکل ۲). بر پایه گزارش‌های سینگ و شوکلا (Singh and Shukla, 1985) کاربرد سولفات‌روی سبب افزایش تولید ایندول استیک اسید گردید که نتیجه آن افزایش درازای ساقه و پیرو آن ماده خشک گیاه بوده است. از سویی سکیموتو و همکاران (Sekimoto *et al.*, 1997) دریافتند که تغذیه مناسب گیاه با عنصر روی غلظت اسید جیبرلیک درون گیاهی را هم افزایش می‌دهد، این پژوهشگران دلیل اصلی توقف رشد برگی را کاهش همزمان اسید جیبرلیک و ایندول استیک اسید دانستند.

تجزیه‌ی واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی هر دو فاکتور کاربرد عنصر روی و اعمال تنش خشکی در میزان تریپتوفان برگ‌های گیاهان تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت

(جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان تریپتوفان در فاکتور اول مربوط به تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی می‌باشد. در رابطه با فاکتور دوم نیز تیمار آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در کمترین مقدار قرار داشت. بیشترین میزان تریپتوفان در فاکتور اول و دوم با مقادیر ۲/۹ و ۲/۵۸ میکروگرم در گرم وزن تر مربوط به تیمار آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد عنصر روی بود و کمترین آن نیز با مقادیر ۱/۶۷ و ۱/۷۶ میکروگرم در گرم وزن‌تر مربوط به تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی و آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۳).




۵

| ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Control-50 Irri | Nano zinc oxide0.5-50 Irri | Nano zinc oxide1-50 Irri | Zinc oxide0.5-50 Irri | Zinc oxide1-50 Irri | Control-75 Irri | Nano zinc oxide0.5-75 Irri | Nano zinc oxide1-75 Irri |
| شاهد-آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی | ۰/۵ درصد نانو روی- آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی | ۱ درصد نانو اکسید روی- آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی | ۰/۵ درصد اکسید روی- آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی | ۱ درصد اکسید روی- آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی | شاهد-آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی | ۰/۵ درصد نانو روی- آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی | ۱ درصد نانو اکسید روی- آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی |

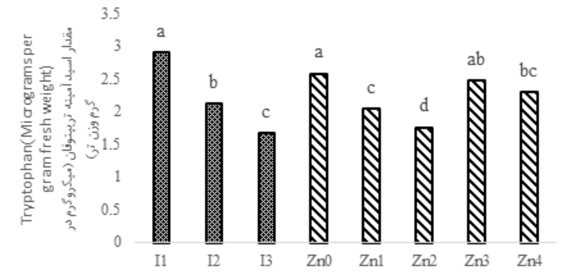
| ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zinc oxide0.5-75 Irri | Zinc oxide1-75 Irri | Control-90 Irri | Nano zinc oxide0.5-90 Irri | Nano zinc oxide1-90 Irri | Zinc oxide0.5-90 Irri | Zinc oxide1-90 Irri |
| ۰/۵ درصد اکسید روی- آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی | ۱ درصد اکسید روی- آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی | شاهد-آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی | ۰/۵ درصد نانو روی- آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی | ۱ درصد نانو اکسید روی- آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی | ۰/۵ درصد اکسید روی- آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی | ۱ درصد اکسید روی- آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی |

**شکل ۲- اثر کاربردهای عنصر روی در شرایط مختلف تنش بر مقادیر اسید جیبرلیک، اسید آبسسیک و ایندول استیک اسید**

**Figure 2- Effect of zinc element application in different stress conditions on gibberellic acid, Abscisic acid and indole acetic acid**

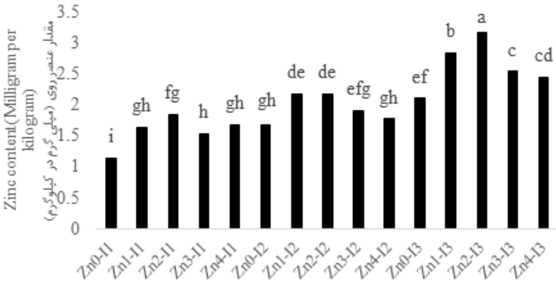
طی این پژوهش، انباشت اسید آمینه تریپتوفان با کاربرد نانو اکسید روی به مقدار ۰/۵۳ و ۰/۸۲ درصد کاهش یافت. در پژوهش‌های نخستین در مورد اکسین بیان گردیده است که از آن‌جایی که ایندول استیک اسید از دیدگاه ساختمان شیمیایی همانند اسید آمینه تریپتوفان است از این رو، به احتمال فراوان از تریپتوفان ساخته می‌شود. پس از شناسایی عناصر رادیواکتیو و کاربرد آنها در پژوهش‌های زیستی، این نظر تأیید شد. با به‌کارگیری کربن رادیواکتیو (کربن ۱۴) مسیر تشکیل ایندول استیک اسید (IAA) در بسیاری از گیاهان شناخته شده است که شامل مسیر زیر می‌باشد: اسید آمینه تریپتوفان به‌وسیله واکنش دآمیناسیون به ایندول پیروویک اسید تبدیل می‌شود. سپس این ماده توسط واکنش دکربوکسیلاسیون به اندول استالدوئید تبدیل می‌گردد. ایندول استالدئید نیز تحت تأثیر واکنش دهیدروژناسیون به ایندول استیک اسید تبدیل خواهد شد. آشکار شده است که عنصر روی به‌صورت غیرمستقیم درسنتز ایندول استیک اسید و به‌صورت مستقیم در سنتز تریپتوفان نقش ایفا می‌کند، به این صورت که اسید آمینه تریپتوفان به‌واسطه آنزیم تریپتوفان

سنتتاز تولید می‌گردد که طی فعالیت این آنـزیم پـیش‌مـاده اینـدول و سرین باهم ترکیب و تولید اسید آمینه ترپیتوفان مـی‌کننـد ( Salami and Kenefick, 1970). ولـی طبـق اظهـارات سـلامی و کنفیـک (Salami and Kenefick, 1970) سازوکار سنتز ایندول استیک اسید بیشتر از سازوکار تولید ترپیتوفان از کمبود عنصر روی متأثر می‌گـردد به همین دلیل می‌باشد که در پژوهش حاضر، اسید آمینه ترپیتوفان در شرایط کمبود عنصر روی به حالت انباشت در آمده اسـت. در شـرایط کمبود این عنصر در پژوهش حاضر، اسید آمینه ترپیتوفان انباشته شده است. کمبود عناصر کم‌مصرف منجر به تغییراتی در سطوح اسـیدهای آمینه گیاهان می‌گردد که از این تغییرات به عنوان شـاخص و معیـــار شنـــاسایی نوع و مقدار کمـبود استفاده می‌گردد. بنـــا بـه اظـــهارات چاکماک و همکــــاران (Cakmak *et al*., 1989) تجمـع برخـــی از اسیدهای آمینه در شرایط کمبود عناصر کـم‌مصـرف رخ مـی‌دهـد. در شرایط کمبـود عنصـر روی انباشـت اسـید آمینـه ترپیتوفـان در ایـن پژوهش گزارش می‌گردد که این نتیجه توسـط چاکمـاک و همکـاران (Cakmak *et al*., 1989) نیز گزارش شده است.



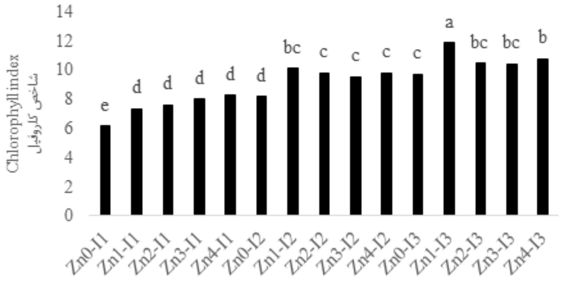
**شکل ۳- اثر کاربردهای مختلف روی و شرایط مختلف رطوبتی بر مقدار ترپیتوفان**

**Figure 3- Effect of z1inc element application in different stress conditions on tryptophan content**



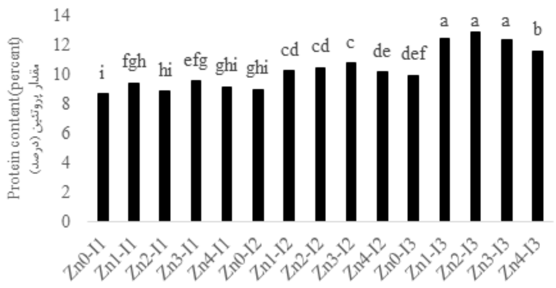
**شکل ٤- اثر کاربردهای عنصر روی در شرایط مختلف رطوبتی بر مقدار عنصر روی**

**Figure 4- Effect of zinc element application in different stress conditions on the amount of zinc**



**شکل ۵- اثر کاربردهای مختلف روی در شرایط مختلف رطوبتی بر شاخص کلروفیل**

**Figure 5- Effect of zinc element application in different stress conditions on Chlorophyll index**



**شکل ٦- اثر کاربردهای مختلف روی در شرایط مختلف رطوبتی بر مقدار پروتئین**

**Figure 6- Effect of zinc element application in different stress conditions on the amount of protein**

| I1 | I2 | I3 | Zn0 | Zn1 | Zn2 | Zn3 | Zn4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Irrigation at 50% crop capacity | Irrigation at 75% crop capacity | Irrigation at 90% crop capacity | Control | Nano zinc oxide 0.5% | Nano zinc oxide 1% | Zinc oxide 0.5% | Zinc oxide 1% |
| آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی | آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی | آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی | عدم کاربرد عنصر روی | نانو اکسید روی ۰/۵ درصد | نانو اکسید روی ۱ درصد | اکسید روی ۰/۵ درصد | اکسید روی ۱ درصد |

بررسی تأثیر کاربرد نـانو اکسـید روی و اکسـید روی معمـولی در شرایط متفاوت تنش خشکی نشان داد که میزان عنصـر روی دانــه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسات میـانگین این پارامتر نشان داد که بالاترین مقدار عنصر روی در دانه مربوط بـه تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیـت زراعی بود و کمترین مقدار این عنصر نیز با مقدار ۱/۱۳ میلی‌گـرم در کیلوگرم مربوط به تیمار شاهد در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۴). کاربرد نانو اکسید روی بـه‌تنهـایی توانسـت میـزان ذخیـره

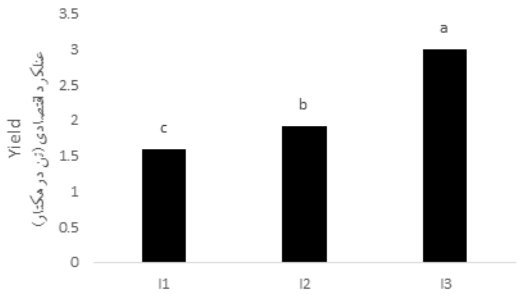
عنصر روی در دانه را به‌ترتیب ۳۸/۲۵، ۲۲/۶۸ و ۳۳/۵۴ درصد در شرایط آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد بهبود بخشد (شکل ۴). افشانه کردن عنصر روی بر اندام‌های هوایی، علاوه بر رشد ریشه و شاخساره می‌تواند موجب افزایش عملکرد و غلظت روی در دانه نیز گردد (Movahhedy *et al*., 2009). چاکماک و همکاران (Cakmak *et al*., 2010) اشاره کردند که افشانه‌کردن برگی عنصر روی بسیار بیش‌تر از کاربرد خاکی آن در افزایش غلظت روی دانه مؤثر می‌باشد. سلول‌های برگ‌های گندم دارای دیواره سلولی نیمه نفوذپذیر هستند که همین امر باعث می‌گردد مولکول‌هایی با اندازه کمتر از چند نانومتر بتوانند از دیواره سلولی عبور کنند (Stoimenov *et al*., 2002). بنابراین با عبور نانوذرات از سلول‌های گیاهی این احتمال وجود دارد که این نانوذرات از طریق آوندها و به‌همراه مواد غذایی به دانه‌ها رسیده و در آن تجمع می‌یابند. همچنین بنا به گزارشات مانجوناتا و همکاران (Manjunatha *et al*., 2016) با توجه به کوچک‌تر بودن اندازه نانو ذرات روی نسبت به سایر نانو ذرات، میزان جذب و تجمع این نانوذره در اندام‌های هوایی و دانه گیاهان (در شرایط افشانه کردن) نسبت به سایر نانو ذرات در بیشترین مقدار خود بود. از نظر زمان افشانه کردن نیز گزارشات متعددی وجود دارد که افشانه کردن عنصر روی را در مراحل آخر پر شدن دانه، بوتینگ و شیری دانه مؤثرترین راه برای بهینه‌سازی غلظت روی دانه دانسته‌اند که به‌طور میانگین غلظت روی دانه را تا حدود ۱۴۰ درصد افزایش می‌دهد (Cakmak, 2010).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش، کاربرد عنصر روی در شرایط متفاوت تنش خشکی بر شاخص کلروفیل در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین این شاخص نشان داد که بیشترین میزان آن با مقدار ۱۱/۸۳ مربوط به تیمار کاربرد نیم درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان آن نیز با مقدار ۶/۱۳ مربوط به تیمار شاهد در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. از میان رفتن و کاهش میزان کلروفیل برگ از واکنش‌هایی است که در شرایط کمبود عنصر روی دیده می‌شود (Abbasi *et al*., 2016). عنصر روی با دخالت در تنظیم غلظت‌های سیتوپلاسمی عناصر، در بیوسنتز کلروفیل و کارتنوئید نقش مهمی را ایفا می‌کند (Wang *et al*., 2009). که سرانجام بر روی دستگاه فتوسنتزی گیاه مؤثر و مطلوب خواهد بود (Aravind and Prasad, 2004). افزایش میزان کلروفیل با مصرف عنصر روی در گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L.)، گندم و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گزارش شده است (Abbasi and shekari, 2016). کمبود عنصر روی از راه کاهش پایداری سلولی موجب افزایش نشت سلولی می‌گردد که این امر تأثیر مستقیمی می‌تواند بر روی تخریب کلروفیل‌ها و کاهش میزان فتوسنتز برگ داشته باشد (Fitter and Hay, 2002). از طرفی، هر چند عنصر روی به‌صورت مستقیم در تشکیل کلروفیل نقش اساسی ندارد ولی می‌تواند بر غلظت دیگر عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل (همانند آهن و منیزیم (Abbasi and Enayati, 2013)) مؤثر باشد (Kaya and Higgs, 2002). موحدی و همکاران (Movahhedi *et al*., 2004) در آزمایشی به این نتیجه رسیدند که افشانه کردن عنصر روی می‌تواند موجب افزایش کلروفیل در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گردد که این امر می‌تواند به علت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد. گذشته از نقش سازنده عنصر روی بر حفظ کارایی کلروفیل برگ‌ها، عنصر یاد شده در به تعویق انداختن تخریب و پیری سلولی به‌صورت غیر مستقیم بر شاخص کلروفیل تأثیر دارد (Movahhedi *et al*., 2004). تورس نتو و همکاران (Torres Netto *et al*., 2005) علت کاهش مقدار کلروفیل در برگ‌های تنش دیده در ارقام گندم را در نتیجه خسارت به غشا کلروپلاست طی تنش اعلام کردند. آنها بیان داشتند که با توجه به تأثیر سوء شرایط تنش بر واکنش نوری و انتقال الکترون در مسیرهای صدمه رسان، تولید انواع اکسیژن فعال افزایش چشمگیری یافته و این مولکول‌ها باعث واکنش‌های فتواکسیداسیون در کلروپلاست و همچنین باعث اکسیداسیون کاروتنوئید و پروتئین‌ها می‌شود. تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش خشکی باعث از بین رفتن کلروفیل و کاهش مقدار آن در واحد سطح می‌گردد (Wahid *et al*., 2007).

بررسی تأثیر کاربرد عنصر روی در شرایط متفاوت تنش خشکی بر روی مقدار پروتئین در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین این پارامتر نشان داد که بیشترین میزان پروتئین با مقادیر ۱۲/۸، ۱۲/۴ و ۱۲/۳۳ درصد مربوط به تیمار کاربرد یک و نیم درصد نانو اکسید روی و نیم درصد اکسید روی در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان پروتئین نیز با مقدار ۸/۶۳ درصد مربوط به تیمار شاهد در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۶). از گزارشات قدیمی در رابطه با پروتئین می‌توان به گزارش مارشنر (Marschner, 1993) اشاره نمود که به افزایش درصد پروتئین دانه گندم با مصرف سولفات روی منتهی شد. بنا به اظهارات دنیل و همکاران (Daniel *et al*., 2003) عنصر روی در تولید پروتئین نقش مهمی را ایفا کرده و می‌تواند درصد آن را افزایش دهد. تیمار نانواکسید روی احتمالاً به علت افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر آنزیم‌های هیدرولیزکننده‌ی قندها یا به دلیل سنتز پروتئین‌ها و پلی پپتیدهای درگیر در سیستم دفاعی سلول، افزایش mRNA و به تبع آن افزایش مقدار کل پروتئین باشد (Fediuc *et al*., 2002). افزایش میزان پروتئین دانه در شرایط افزایش عنصر روی توسط بقی‌زاده و همکاران (Baghizadeh *et al*., 2011) تعدادی از پژوهشگران در گیاهان مختلف گزارش شده است. بنا به اظهارات کرما (Keram *et al*., 2014) فعالیت آنزیم گلوتامیک دهیدروژناز به‌واسطه تأثیر

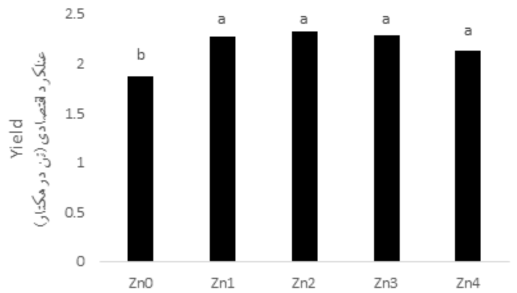
مستقیم عنصر روی فعال می‌گردد که این امر باعث افزایش گلوتن اندوخته شده در دانه و بالا رفتن میزان پروتئین دانه خواهد شد.

بررسی تأثیر کاربرد عنصر روی در شرایط متفاوت تنش خشکی بر روی عملکرد اقتصادی گندم در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین این شاخص نشان داد که کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقدار عملکرد دانه را از آن خود نمود (شکل ۶). کمترین میزان این پارامتر نیز با مقدار ۱/۱۸۶ تن در هکتار مربوط به تیمار شاهد در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۶). تأثیرپذیری رشد گیاهان از کمبود عنصر روی نهایتاً سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی خواهد شد، این مهم به دلیل اهمیت عنصر روی در انجام فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان زراعی می‌باشد (Khan *et al.*, 2008). عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2016) وجود همبستگی بالا بین رشد و عملکرد گندم را تأیید کردند. در همین راستا سدری و ملکوتی (Sedri and Malakouti, 1998) اعلام کردند در مناطقی از ایران که روی قابل جذب خاک کمتر از ۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد کاهش رشد گیاهان سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد. در این پژوهش، با کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در شرایط آبیاری کامل میزان عملکرد گندم را به میزان ۱۷/۸۱ درصد نسبت به شرایط شاهد بهبود بخشید (شکل ۶). در همین راستا، عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2016) گزارش کردند که بهره‌گیری از سولفات‌روی نسبت به غلظت صفر در شرایط بدون تنش، باعث افزایش ۲۷ و ۲۲ درصدی عملکرد دانه شد.




**شکل ۷- اثر شرایط مختلف رطوبتی بر مقدار عملکرد اقتصادی**

**Figure 7- Effect of different stress conditions on yield**




**شکل ۸- اثر شرایط کاربردهای مختلف روی بر مقدار عملکرد اقتصادی**

**Figure 8- Effect of zinc element application on yield**

| I1 | I2 | I3 | Zn0 | Zn1 | Zn2 | Zn3 | Zn4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Irrigation at 50% crop capacity | Irrigation at 75% crop capacity | Irrigation at 90% crop capacity | Control | Nano zinc oxide 0.5% | Nano zinc oxide 1% | Zinc oxide 0.5% | Zinc oxide 1% |
| آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی | آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی | آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی | عدم کاربرد عنصر روی | نانو اکسید روی ۰/۵ درصد | نانو اکسید روی ۱ درصد | اکسید روی ۰/۵ درصد | اکسید روی ۱ درصد |

درخصوص اسید فیتیک اثرات کاربرد عنصر روی در شرایط متفاوت تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسات میانگین این پارامتر نشان داد که بالاترین مقدار اسید فیتیک دانه با مقدار ۲۰/۷۷ درصد مربوط به تیمار کاربرد نیم درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود و کمترین مقدار این ماده نیز با مقدار ۱۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به تیمار یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). فسفر در دانه ۵۰ تا ۸۰ درصد به صورت اسید فیتیک ذخیره می‌گردد. این ماده با تشکیل پیوندهای مستحکم با عنصر روی غلظت این عنصر را به شدت کاهش داده و سبب اختلال در جذب و هضم آنها در دستگاه گوارش انسان می‌شود (Prasad, 2003). پورقاسم و همکاران (Pourghasem *et al.*, 2005) اعلام نمودند که کمبود عنصر روی عامل اصلی کاهش کیفیت نان‌های مصرفی برخی از کلان شهرها و یکی از شایع‌ترین ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در این شهرها می‌باشد. عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2017) اذعان داشتند که کاربرد عنصر روی در بین تیمارهای به‌کار برده شده به دلیل کاهش میزان اسید فیتیک دانه‌های برداشت شده توانست در افزایش کیفیت تغذیه‌ای در شرایط تنش خشکی تأثیر مستقیم داشته باشد.

برهم‌کنش کاربرد عنصر روی در مراحل تنش بر غلظت پرولین گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسات میانگین این پارامتر نشان داد که بالاترین غلظت این ماده در تیمار

یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل گردید. کم‌ترین مقدار پرولین نیز مربوط به تیمار کاربرد نیم درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). یکی از شاخص‌های ارزیابی گیاهان تحت تنش خشکی، انباشت پرولین در اندام‌های مختلف گیاهی می‌باشد (Zengin, 2006). اثرات مثبت حضور پرولین در توازن آب و تحمل تنش خشکی درپژوهش‌ها نشان داده شده است (Siddiqui *et al.*, 2015). افزایش سنتز پرولین در گیاهان تحت تنش سبب مهار و کاهش اثرات انواع اکسیژن فعال می‌گردد که این مهم نیز باعث محافظت غشاهای سلولی، پروتئین‌های سلول و همچنین آنزیم‌های سیتوپلاسمی می‌گردد (Liang *et al.*, 2013). همچنین این ماده به‌عنوان منبع کربن و نیتروزن در گیاهان زراعی بخصوص در شرایط تنش خشکی شناخته می‌شود (Liang *et al.*, 2013). به‌صورت کلی در گیاهان زراعی دو مسیر برای سنتز پرولین وجود دارد. ۱. مسیر گلوتامات که نقش اصلی در سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی دارد و ۲. مسیر آرژنین– اورنیتین (Hu *et al.*, 1992). پرولین در شرایط تنش از واکوئل به سیتوزول و با کاهش تنش به واکوئل و پلاسمید انتقال می‌یابد. تأثیر عنصر روی در افزایش غلظت پرولین توسط پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش غلظت عنصر روی مقدار پرولین اندام هوایی افزایش می‌یابد (Singh *et al.*, 2014).

**جدول ۳- مقایسات میانگین مربوط به صفات ماده خشک، عملکرد اقتصادی، مقدار اسید فیتیک و پرولین تحت تأثیر تیمارهای مصرف عنصر روی و اعمال تنش خشکی**

**Table 3- Compare means of dry matter, yield, amount of phytic acid and proline under the influence of zinc element treatment and drought stress**

| تنش خشکی<br>**Stress Drought** | تیمار<br>**Treatment** | ماده خشک<br>**Dry matter** | مقدار اسید فیتیک<br>**Phytic Acid** | پرولین<br>**Proline** |
|---|---|---|---|---|
| Irrigation at 50% crop capacity | Control | 3220fg | 19.3b | 53.67efg |
| | Nano zinc oxide0.5 | 3567def | 17.13fg | 55.53de |
| | Nano zinc oxide1 | 3614de | 16.6g | 61.97a |
| | Zinc oxide 0.5 | 3620de | 17.4efg | 52.9fgh |
| | Zinc oxide 1 | 3437efg | 17.13fg | 54.23def |
| Irrigation at 75% crop capacity | Control | 3151g | 18.13cde | 54.3def |
| | Nano zinc oxide0.5 | 3631de | 18.43bcd | 55.87cde |
| | Nano zinc oxide1 | 3932d | 17.63def | 58.17bc |
| | Zinc oxide 0.5 | 3579def | 19.1b | 56.3cd |
| | Zinc oxide 1 | 3430efg | 18.73bc | 58.9b |
| Irrigation at 90% crop capacity | Control | 4910c | 19.3b | 49.2ij |
| | Nano zinc oxide0.5 | 5429ab | 20.77a | 48.73j |
| | Nano zinc oxide1 | 5548a | 18.7bc | 52.37fgh |
| | Zinc oxide 0.5 | 5126bc | 17.17fg | 50.8hij |
| | Zinc oxide 1 | 5046c | 20.77a | 51.6ghi |

## نتیجه‌گیری

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنین اذعان داشت که بروز تنش خشکی با تأثیر بر مقادیر هورمون‌های گیاهی سبب کاهش رشد اندام‌های هوایی و نهایتاً کاهش عملکرد زیست‌توده و عملکرد نهایی می‌گردد. از آنجایی‌که بهره‌گیری از عنصر روی می‌تواند با افزایش ساخت پرولین و پیشگیری از تخریب کلروفیل موجب کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی و بهبود شرایط رشدی گیاهان گردد می‌توان نتیجه گرفت که این تغییرات در شرایط کاربرد عنصر روی نهایتاً می‌تواند به بهبود عملکرد زیست‌توده و عملکرد نهایی منتهی گردد. طی پژوهش حاضر افزایش میزان ایندول استیک اسید از ۱۱۸/۳ به ۱۸۹/۳ نانوگرم برگرم وزن‌تر، افزایش میزان اسید جیبرلیک از ۹۸/۳ به ۱۲۰ نانوگرم برگرم وزن‌تر، کاهش میزان آبسیزیک اسید از ۴۹۴ به ۳۸۵/۳ نانوگرم برگرم وزن‌تر، افزایش میزان پرولین از ۵۳/۶۷ به ۶۱/۹۷ درصد، افزایش شاخص کلروفیل از مقدار ۶/۱۳ به مقدار ۶/۶ افزایش مقدار پروتئین دانه از مقدار ۸/۶۳ به ۸/۸ درصد در شرایط تنش شدید و کاربرد یک درصد نانو اکسید روی نشان از تخفیف اثرات سوء تنش خشکی و بهبود شرایط رشدی گیاهان می‌باشد که نهایتاً به افزایش عملکرد زیست‌توده از ۳۲۲۰ به ۳۶۱۴ کیلوگرم در هکتار و همچنین افزایش عملکرد اقتصادی از ۱/۱۸۶ به ۱/۶۸۴ تن در هکتار منتهی گردید. از لحاظ کیفیت عملکرد نیز افزایش ذخیره عنصر روی در دانه از ۱/۱۳ به ۱/۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و کاهش میزان اسید فیتیک از ۱۹/۲ به ۱۶/۶ درصد در شرایط تنش خشکی شدید و کاربرد یک درصد نانو اکسید روی نشان از کاهش اثرات سوء تنش خشکی و بهبود عملکرد کیفی نیز می‌باشد.

**References**

1. Abbasi, A., and Enayati. 2013. Decrease of cell defense mechanisms efficiency and oxidative stress accruing in lake of Mg condition. Iranian Journal of Dryland Agriculture 1 (4): 41-52. (in Persian).
2. Abbasi, A., and Shekari, F. 2016. Effect of zinc sulfate on growth and yield of wheat under soil zinc deficiency and drought stress. Cereal Research 6 (2): 145-158. (in Persian).
3. Abbasi, A., Shekari, F., Mosavi, S. B., Sabaghnia, N., and Javanmard, A. 2017. Effect of zinc sulfate in the quantity and quality of wheat grain under soil zinc deficiency and drought stress. Cereal Research 7 (1): 1-18. (in Persian).
4. Abbasi, A., Shekari, F., Mosavi, S. B., Sabaghnia, N., and Javanmard, A. 2016. The Partitioning Trend of Resources and Alpha-Amylase Enzyme Activity with Zinc Priming in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed. Iranian Journal of Seed Research 3 (2): 1-13. (in Persian).
5. Abbasi, A., Shekari, F., Mousavi, S. B., and Sabaghnia, N., 2016. Assessment of the Effect of Zinc Sulfate Biofortification on the Quantity and Quality Characteristics of Spring Wheat Cultivars. Advances in Bioresearch 7 (1):18-25.
6. Abbasi, A., Shekari, F., Mousavi, S. B., and Sabaghnia, N. 2015. Promoting the Use of Wheat Enriched Seeds, Stable Way to Solve Zinc Deficiency Problem. International Conference on Healthy Agriculture, Nutrition and Community. Icanc-p-100-992-1. July, 2015, Tehran, Iran.
7. Ahmadi, A., and Baker, D. A. 1999. Effects of abscisic acid (ABA) on grain filling processes in wheat. Plant Growth Regulation 28: 187-197.
8. Ali Ehyaee, M., and Behbahanizadeh, A. A. 1993. Describe the methods of soil analysis. Soil and Water Research Institute, No. 893.
9. Aravind, P., and Prasad, M. N. V. 2004. Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L.: A freshwater macrophyte. Plant Science 166: 1321-1327.
10. Baghizadeh, A., and Hajmohammadrezaei, M. 2011. Effect of Drought stress and its interaction with soluble sugar and Salicylic acid on Okra (*Hibisicus Esculentus* L.) germination and seedling growth, Journal of Stress & Biochemistry 1: 55-65.
11. Barendse, G., Van, de. Werken, P., and Takahashi, N., 1980. High-performance liquid chromatography of gibberellins. Journal of Chromatography A. 198 (4): 449-455.
12. Bates, L., Waldren, R., and Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39 (1): 205-207.
13. Borkovec, V., and Prochazka, S. 1992. Pre anthesis interaction of cytokinins and ABA in the transport of 14C sucrose to the ear of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agronomy Crop Science 169: 229-235.
14. Broadley, M. R., White, P. J, Hammond, J. P, Zelko, I., and Lux, A. 2007. Zinc in plants. New Phytologist 173 (4): 677-702.
15. Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., and Horst, W. J. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 9092-9102.
16. Cakmak, I., Marschner, H., and Bangerth, F. 1989. Effect of Zinc Nutritional Status on Growth, Protein Metabolism and Levels of lndole-3-acetic Acid and other Phytohormones in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Experimental Botany 40: 212, pp.
17. Daniel, L. P., Roma, D., Bol, A., Nerdal, N., and Brown, K. H. 2003. Absorption of zinc from wheat products fortified with iron and either zinc sulfate or zincoxide. The American Journal of Clinical Nutrition 78 (2): 279-283.
18. Devi, P. G., and Velu, A. S. 2016. Synthesis, structural and optical properties of pure ZnO and Co doped ZnO nanoparticles prepared by the co-precipitation method. Journal of Theoretical and Applied Physics 10 (3): 233-240.
19. Fageria, N., Slaton, N., and Baligar, V. 2003. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. Advances in Agronomy 80: 63-152.
20. Fao. 2014. from http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.
21. Fediuc, E., and Laszlo, E. 2002. Physiological and biochemical aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in phragmites Australia and Typha latifolia. Plant Physiology 5: 129-132.
22. Fitter, A. H., and Hay, R. 2002. Environmental physiology of plants, 3rd ed. San Diego, CA, USA: Academic Press.
23. Fontaine, J. 2003. Amino acid analysis of feeds. Amino acids in animal nutrition: 15-40.
24. Haug, W., and Lantzsch, H. J. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. Journal of the Science of Food and Agriculture 34 (12): 1423-1426.
25. Hu, C. A., Delauney, A. J., and Verma, D. P. 1992. A bifunctional enzyme (Δ1-pyrroline-5-carboxylate synthetase) catalyzes the first two steps in proline biosynthesis in plants. Proceedings of the National Academy of Sciences 89: 9354-9358.
26. Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L., Condon, A. G., Richards, R. A., and Dolferus, R., 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant, Cell & Environment 33 (6): 926-942.

27. Kaya, C., and Higgs, D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Scientia Horticulturae 93: 53-64.
28. Keram, K. S. 2014. Response of Zinc Fertilization to Wheat on Yield, Quality, Nutrients Uptake and Soil Fertility Grown in a Zinc Deficient Soil. European Journal of Academic Essays 1 (1): 22-26.
29. Khan, M. A., Fuller, M. P., and Baloch, F. S. 2008. Effect of Soil Applied Zinc Sulphate on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grown on a Calcareous Soil in Pakistan. Cereal Research Communications 36 (4): 571-582.
30. Kisan, B., Shruthi, H., Sharanagouda, H., Revanappa, S., and Pramod, N., 2015. Effect of nano-zinc oxide on the leaf physical and nutritional quality of spinach. Agrotechnology 5: 135.
31. Klaine, S., Alvarez, P., Batley, G., Fernandes, T., Handy, R., Lyon, D., Mahendra, S., McLaughlin, M. J., and Lead, J. R. 2008. Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects. Environmental Toxicology Chemistry 27: 1825-1851.
32. Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., and Becker, D. F. 2013. Proline Mechanisms of Stress Survival. Antioxid Redox Signal 19 (9): 998-1011.
33. Manjunatha, S., Biradar, D., and Aladakatti, Y. 2016. Nanotechnology and its applications in agriculture: A review. Journal of Farm Science 29 (1): 1-13.
34. Marrush, M., Ymaguchi, A., and Saltveit, M. E. 1998. Effect of potassium nutrition during bell pepper seed development on vivipary and endogenous levels of abscisic acid. American Society for Horticultural Science 123: 925-930.
35. Marschner, H. 1993. Mineral nutrition of hisherplants. 2nd ed. Academic. Press public.
36. Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants, Academic press.
37. Martin, D., Stegman, E., and Fereres, E. 1990. Irrigation scheduling principles. IN: Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 155-203, 19, 9, 81.
38. Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A. M., Soroush-Zade, A., and Jalali, M., 2004. Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and maganese. Biaban 9 (1): 93-110.
39. Movahhedy-dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crops and Products 30: 82-92.
40. Muraro, D., Byrne, H., King, J., Voß, U., Kieber, J., and Bennett, M. 2011. The influence of cytokinin–auxin cross-regulation on cell-fate determination in Arabidopsis thaliana root development. Journal of Theoretical Biology. 283 (1): 152-167.
41. Myers, P. N., Setter, T. L., Madison, J. T., and Thompson, J. F. 1990. Abscisic acid inhibition of endosperm cell division in cultured maize kernels. Plant Physiol 94: 1330-1336.
42. Pourghasem Gargari, B., Mahboub, S. A., and Razavieh, S. V. 2005. Phytic acid and its molar ratio to zinc in consumed breads in tabriz. Journal of Urmia University of Medical Scinces 16 (3): 136-142.
43. Prasad, A. S. 2003. Zinc deficiency. British Medical J. 326 (7386): 409-410.
44. Premanathan, M., Karthikeyan, K., Jeyasubramanian, K., and Manivannan, G. 2011. Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine 7 (2): 184-192.
45. Razmjoo, J., and Ghafari, H. 2015. Response of durum wheat to foliar application of varied sources and rates of iron fertilizers. Journal of Agricultural Science and Technology 17 (2): 321-331.
46. Roche, J., Hewezi, T., Bouniols, A., and Gentzbittel, L. 2009. Real-time PCR monitoring of signal transduction related genes involved in water stress tolerance mechanism of sunflower. Plant Physiology and Biochemistry 47 (2): 139-145.
47. Rostamza, M., Chaichi, M. R., Jahansouz, M. R., and Alimadadi, A. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. Agricultural Water Management 98 (10): 1607-1614.
48. Salami, A. U., and Kenefick, D. G. 1970. Stimulation of growth in zinc-deficient corn seedlings by the addition of tryptophan. Crop Science 10: 291-4.
49. Schussler, J. R., Brenner, M. L., and Brun, W. A. 1984. Abscisic acid and its relationship to seed filling in soybeans. Plant Physiology 76: 301.
50. Scott, N., and Chen, H. 2013. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. Industrial Biotechnology 9 (1): 17-18.
51. Sedri, M. H., and Malakouti, M. J. 1998. Determination of micronutrients critical levels in Kordestan irrigated wheat soils. Iran. J. Soil Water Sci. 12: 19-31.
52. Sekimoto, H., Mitsuo, H., Takahito, N., and Takao, Y. 1997. Zinc Deficiency Affects the Levels of Endogenous Gibberellins in *Zea mays* L. Plant Cell Physiology 38 (9): 1087-1090.
53. Siddiqui, M. H., Al-Khaishany, M. Y., Al-Qutami, M. A., Al-Whaibi, M. H., Grover, A. H. M., Al-Wahibi, M. S., and Bukhari, N. A. 2015. Response of different genotypes of faba Bean plant to drought stress. International Journal

of Molecular Sciences 16: 10214-10227.

54. Singh, J., Padmalochan, H., and Jolly, B. 2014. Potential of *Vigna unguiculata* as a Phytoremediation Plant in the Remediation of Zn from Contaminated Soil. American Journal of Plant Sciences 5: 1156-1162.
55. Singh, K., and Shukla, V. C. 1985. Response of wheat to zinc application in different soils of a semiarid region. Indian Society of Soil Science 40: 119-124.
56. Stoimenov, P. K., Klinger, R. L., Marchin, G. L., and Klabunde, K. Y. 2002. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. Langmuir 18: 6679-6686.
57. Skoog, F. 1940. Relationships between zinc and auxin in the growth of higher plants. American Journal of Botany 27: 939-951.
58. Torres Netto, A., Campostrini, E., DeOliviera, J. G., and Bressan-Smith, R. E. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. Scientia Horticulture 104: 199-209.
59. Van Loon, J. A. 2012. Analytical atomic absorption spectroscopy: selected methods, Elsevier.
60. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. Environmental and Experimental Botany 61: 199-223.
61. Wang, H., Liu, R. L., and Jin, J. Y. 2009. Effects of zinc and soil moisture on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of maize. Biologia plantarum 53 (1): 191-194.
62. Yokota, T., Nakayama, M., Harasawa, I., Sato, M., Katsuhara, M., and Kawabe, S. 1994. Polyamines, indole-3-acetic acid and abscisic acid in rice phloem sap. Plant growth regulation 15 (2): 125-128.
63. Zain, M., Khan, I., Qadri, R. W. K., Ashraf, U., Hussain, S., Minhas, S., Siddiquei, A., Jahangir, M. M., and Bashir, M. 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. American Journal of Plant Sciences 6 (07): 864.
64. Zdunek, E., and Lips, S. H. 2001. Transport and accumulation rates of abscisic and aldehyde oxidase activity in Pisum sativum L. in response to sub optimum growth condition. Journal of Experimental Botany 52: 1269-1276.
65. Zengin, K. F. 2006. The effects of $Co_2^+$ and $Zn_2^+$ on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Strike) seedlings. Journal of Environmental Biology 27: 441-448.

**Iranian Journal of Field Crops Research**
**Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 569-582**

**نشریه پژوهشهای زراعی ایران**
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۵۸۲-۵۶۹

# Effect of Drought Stress and Application of Zinc Oxide on Hormonal Changes and Growth Status of Wheat Bread

**A. Abbasi[1*]- F. Shekari[2]- R. Lotfi[3]**
Received: 05-10-2017
Accepted: 10-06-2018

**Introduction** Drought stress and Zn deficiency are important factors affecting the quantity and quality of wheat. Zn deficiency reduces photosynthesis and disorders protein synthesis that the consequence of such process is the gathering of amino acids and amides, and disordering of carbohydrates metabolism. Besides, in such a condition, the length of plants and the size of leaves reduce due to changes in Auxin metabolism, especially Indole Acetic Acid (IAA). Drought stress reduces leaf size, cell division, plant growth, amount of photosynthesis, protein synthesis and chlorophyll content. Balance of plant hormones is affected by both of these factors. Among the compounds with zinc element, Zinc oxide is known from the US Food and Drug Administration as one of the safest and most integral components of Zinc. Nanoparticles have attracted much attention for their distinct characteristics that are unavailable in conventional macroscopic materials. Obviously, increasing of zinc availability and reducing of drought effects can play an effective role in improving the present situation.

**Materials and Methods** The present study was carried out using split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications. Two factors of drought stress (irrigation at 90% of field capacity as non-stress condition, irrigation in 75% of field capacity as medium stress and irrigation in 50% of field capacity as severe stress) and application of zinc element (without treatment, spraying of 5 and 10 ppm of Nano Zinc Oxide and Zinc Oxide) were examined as factors of this study. In this study, parameters of Indole acetic acid, Abscisic acid, Gibberellic acid, Tryptophan, Amount of Zinc, Chlorophyll index, Protein, Total dry matter, Phytic acid, Proline, and Yield were measured.

**Results and Discussion** Results of variance analysis of field data revealed that zinc element application in stress conditions could improve a number of parameters of this study. The interactions between drought and zinc on indole acetic acid, abscisic acid, gibberellin, zinc element values, chlorophyll index, protein, phytic acid at one percent probability level and total dry matter content at five percent probability level were significant. Application of nano-zinc oxide in 75% and 50% of field capacity, as well as non-application of Zinc in these conditions caused optimal changes in plant hormones, chlorophyll, protein, economic performance and proline. Application of zinc oxide increased 13.4 and 17.43 percent in the amount of indole acetic acid and gibberellin, while the use of zinc oxide reduced the acidity of 51.9 percent of abscisic acid under 90% field capacity. Zn content increased in seed from 1.13 to 1.83 mg kg and reduction of phytic acid from 19.2 to 16.6 percent under severe drought stress. Application of 10 ppm nano-zinc oxide showed a decrease in the negative effects of drought stress and improved quality of wheat.

**Conclusions** As a general conclusion, it can be acknowledged that drought stress with effect on plant hormones, decreased the growth of shoot which causes reduced plant dry matter and plant yields. The use of zinc could increase the proline production and prevented chlorophyll degradation that causes reduced the effects of water stress and improved plant growth conditions. As a final result, these changes in Zinc application conditions could improve dry matter yield and economic yield.

**Keywords:** Auxin, Cytokinin, Phytic Acid, Tryptophan, Yield

1- Assistant Professor of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran
2- Professor of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran
3- Assistant Professor of Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran
(*- Corresponding Author Email: a.abbasi25@yahoo.com)